

Mineralogia e temperatura de formação das mineralizações auríferas de Bigorne, Norte de Portugal

Mineralogy and formation temperature of gold mineralizations from Bigorne, North Portugal

Leal, S.^{1,2*}, Noronha, F.¹, Lima, A.^{1,2}

¹ Instituto de Ciências da Terra – Pólo Porto, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal

² Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal

* sarafleal@fc.up.pt

Resumo: As mineralizações de ouro de Bigorne estão localizadas na Zona Centro Ibérica e ocorrem em jazigos filonianos intragraníticos do tipo “*sheeted-veins*”. As estruturas mineralizadas cortam granitos biotíticos, tardi- a pós-D3; são subverticais e têm direção paralela à das falhas regionais NNE-SSW, como a falha Penacova-Régua-Verín. A associação mineralógica presente é a seguinte: arsenopirite ± pirite ± bismutinite ± teluretos ± bismuto e Au-nativo. As análises de microsonda eletrónica nas partículas de Au revelaram baixos teores de Ag (Au-nativo), que ocorre de duas formas: i) em agregados com bismuto, minerais de Bi-Te e com a maldonite em microcavidades na arsenopirite; ii) em partículas de maiores dimensões em fraturas na arsenopirite e na pirite. A presença de Au-nativo, Bi e teluretos e as suas relações texturais (*bismuth scavenger model*) permitiu inferir as seguintes condições de temperatura de deposição: Bi-nativo - 271°C; Maldonite - 241°C; minerais de Bi-Te - 266°C; Au-Bi-Te - 235°C. O Au-nativo de maiores dimensões poderá ter origem na decomposição da maldonite (Au + Bi) e/ou na remobilização de Au-nativo a mais baixas temperaturas.

Palavras-chave: Bigorne, mineralizações de ouro, bismuto, telúrio.

Abstract: The Bigorne gold deposit is located in the Central Iberian Zone, and is an intragranitic gold-bearing quartz vein system in sheeted veins. The quartz-veins crisscross late- to post-D3 biotitic granites. These veins are subvertical and are parallel to major fault zones orientated NNE-SSW, such as the Penacova-Régua-Verín fault. The present mineralogical association is as follows: arsenopyrite ± pyrite ± bismuthinite ± tellurides ± bismuth and native Au. Electron microprobe analysis in the Au particles revealed low levels of Ag (native Au) occurring in two modes: i) in aggregates with bismuth, Bi-Te minerals and maldonite in microcavities in arsenopyrite; ii) larger particles in fractures in arsenopyrite and pyrite. The presence of native Au, Bi and tellurides as well as their textural relations (*bismuth scavenger model*) allowed inference of the following deposition temperatures: native Bi - 271°C; Maldonite - 241 °C; Bi-Te minerals - 266 °C; Au-Bi-Te-235 °C. The larger native Au, which occurs in arsenopyrite and pyrite fractures, may be originate from the decomposition of maldonite (Au + Bi) and / or native Au remobilization at lower temperatures.

Keywords: Bigorne, gold mineralizations, bismuth, tellurium.

1. Introdução

A ocorrência de fases minerais de Au-Bi-Te(S) em mineralizações de ouro em jazigos intragraníticos é frequente. O tipo de associação e as relações texturais entre aquelas fases minerais podem ser bons indicadores das condições de formação das mineralizações, pois são muito sensíveis a mudanças de temperatura, condições de Eh-pH e condições de fO_2 e fS_2 (e.g., Tooth et al., 2008; Ciobanu et al. 2010). A hipótese de segregação de fases minerais complexas de Bi-Au-Te-(S) a partir de fluidos hidrotermais tem sido utilizada na interpretação das condições de formação de várias tipologias de sistemas mineralizados em Au (e.g., Fuertes-Fuente et al., 2016). Neste trabalho, os objetivos principais são o estudo das associações mineralógicas presentes e sua utilização na determinação das condições de deposição do ouro.

2. Geologia Regional

O depósito aurífero de Bigorne situa-se no norte de Portugal, no concelho de Lamego, distrito de Viseu. A área de estudo insere-se no Maciço Ibérico, segmento mais ocidental da cadeia Varisca, na Zona Centro Ibérica (ZCI) (Julivert et al., 1972). A evolução estrutural da ZCI durante o Paleozoico Superior resultou, essencialmente, da sobreposição de três fases principais de deformação da Orogenia Varisca (D1, D2 e D3), seguidas de fases de fracturação tardia (Noronha et al., 1981).

As rochas mais antigas (Câmbrico inferior) dizem respeito a litologias do Complexo Xisto-Grauváquico, representadas por xistos, metagrauvaques e calcossilicatadas. As litologias do Ordovícico consistem em xistos argilosos e quartzitos. O Silúrico representado por xistos ampelitosos (Teixeira, 1968). Ocorrem corneanas e xistos mosqueados no contacto com os granitos. Na região as litologias dominantes são os granitos biotíticos, de diferentes idades: sintectónicos (sin-D3), tardi-tectónicos (tardi-D3) e tardi- a pós tectónicos (tardi- a pós-D3) (Ferreira et al., 1987). As composições geoquímicas dos granitos são semelhantes ($SiO_2 = 69,9\%$ a $74,5\%$; $FeO_{total} = 3,65\%$ a $1,25\%$) e razões A/CNK

variando entre 1.20 e 1.30, tendo os granitos um carácter peraluminoso. A estrutura regional tardi-varisca de maior relevância corresponde à falha Penacova-Régua-Verín (PRV), um desligamento esquerdo com uma orientação predominante NNE-SSW.

3. Materiais e métodos

O estudo da composição da associação mineral aurífera e da arsenopirite, foi efetuado recorrendo à microsonda eletrónica ao microscópio electrónico de varrimento no Laboratório de Geologia e Geocronologia dos Serviços Comuns de Investigação da Universidade de Oviedo (Espanha).

4. Estruturas mineralizadas

A mineralização aurífera de Bigorne é intragranítica e ocorre segundo um sistema principal de fraturas paralelas entre si de orientação N10°-20°E; 70°W e N20°-40°E; 60°-75°-80°W que cortam os granitos, formando uma estrutura em *sheeted veins* (Caessa et al., 1998) (Fig.2-A), e correspondem a estruturas de 2ª e 3ª ordem paralelas à falha PRV.

Nos filonetes de quartzo são observáveis duas zonas: i) zona central ocupada por quartzo e sulfuretos; ii) e zona marginal greisenizada (Fig. 1-B). A arsenopirite é o sulfureto dominante, em menor percentagem ocorre a pirite e a calcopirite. Na margem é frequente a ocorrência de scheelite e volframite (Fig. 1-D).

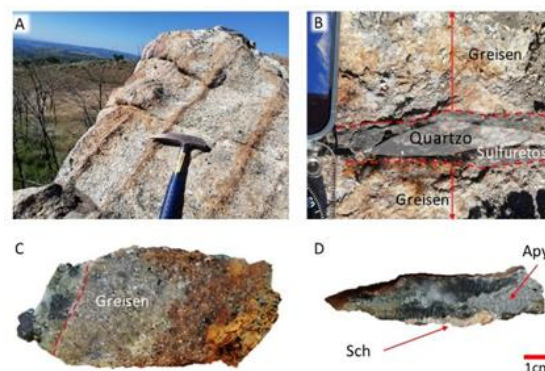


Fig. 1 – A – Veios mineralizados paralelos (sheeted veins); B – Estruturas dos veios mineralizados mais possantes; C – Alteração hidrotermal (greisen); D – Mineralogia dos veios (quartzo+sulfuretos+scheelite).

A alteração hidrotermal está limitada ao contacto dos veios mineralizados (<10cm)

e consiste numa greisenização do granito (Fig. 1-C).

5. Estudo geoquímico dos sulfuretos e dos minerais de ouro

5.1. Arsenopirite

A arsenopirite ocorre de forma disseminada no encaixante e nas zonas greisenizadas (Apy-I) e/ou em agregados monominerálicos (Apy-II) preenchendo as fracturas. Tendo em conta o geotermómetro das arsenopirites (Kretschmar e Scott, 1976) foi possível uma estimativa das temperaturas de cristalização da arsenopirite, em particular para condições de cristalização nas proximidades do equilíbrio pirite/arsenopirite. As temperaturas aproximadas foram calculadas com base nas análises contendo teores de elementos menores inferiores a 1 wt% e em cristais não zonados. Os valores de As variam entre 30,60 (apy-II) e 32,47 at% (Apy-I), implicando uma gama de temperaturas entre os 375°C e os 456°C, respetivamente (Fig. 2).

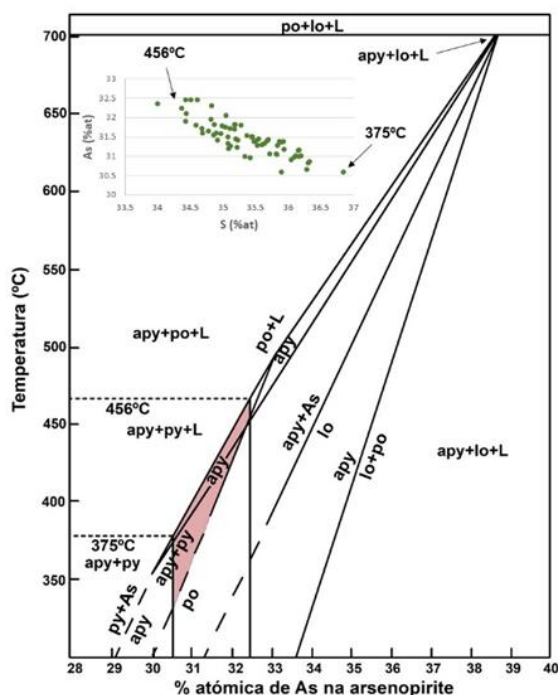


Fig. 2 – Diagrama de aplicação do geotermómetro segundo Kretschmar e Scott (1976).

O intervalo de temperaturas encontrado para a cristalização da Apy-II poderá corresponder aos sulfuretos depositados

durante o segundo estágio mineralizante estabelecido por Noronha et al. (2000), com estudos de inclusões fluídas em quartzos (300°C e 450°C).

5.2. Minerais de ouro

Os minerais de ouro presentes neste depósito são: ouro nativo, maldonite (Au_2Bi) e calaverite (AuTe_2) (Fig. 3-A-B-C).

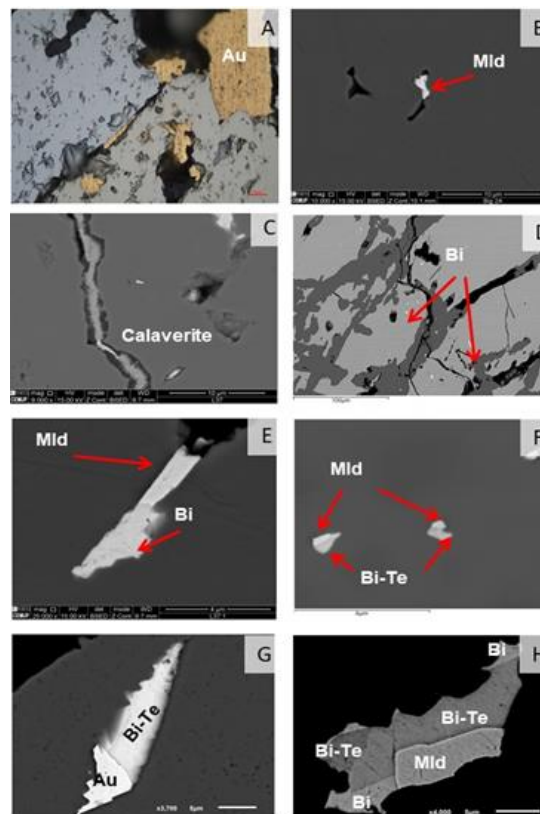


Fig. 3 – Microfotografias da associação mineral aurífera de Bigorne. A – Ouro nativo (Au) de grandes dimensões; B – Maldonite (Mld); B – Calaverite; D – Bi-nativo (Bi); E – Mld + Bi-nativo; F – Mld + minerais de Bi-Te; G – Au + minerais de Bi-Te; H – Mld + Bi-Te + Bi.

O Au-nativo (20 μm – 100 μm) ocorre maioritariamente na arsenopirite, e na escorodite e pirite. Em contrapartida o Au-nativo (< 20 μm) surge apenas em microcavidades na arsenopirite, em associação com minerais de Bi-Te e Bi-nativo. Os dados das análises químicas revelaram teores de Ag muito baixos (3-22 wt% Ag). Os sulfossais e teluretos de bismuto, em geral formam minerais com múltiplas fases intercrescidas (Fig. 3-H), formando grãos compósitos mostrando pontos triplos, com contactos rectos.

5. Considerações finais

As evidências mineralógicas e texturais observadas e a ausência de teores de Au na arsenopirite e na pirite, são características que suportam a hipótese de segregação de *fundidos* de Bi-Au-Te-(S) a partir de fluidos hidrotermais para a deposição de Au, neste depósito. De notar que a presença de Bi-nativo nesta paragénese, limita superiormente a temperatura de deposição do Au aos 271°C, que corresponde à temperatura de fusão do Bi. Para o eutético dos sistemas Au-Bi (241°C), Bi-Te (266°C) e Au-Bi-Te (235°C) são indicadas temperaturas ainda mais baixas. É muito provável que o Au, acima desta temperatura, seja transportado num “*fundido metálico*” de Bi-(Te) “*bismuth scavenger model*” (Douglas et al., 2000). A presença de Au-nativo de maiores dimensões pode resultar da decomposição da maldonite (Au-nativo + Bi-nativo) e da remobilização de Au com o decréscimo da temperatura e destabilização dos sulfuretos. Estas condições são compatíveis com a gama de temperaturas estabelecidas a partir do estudo das inclusões fluidas de diversos depósitos auríferos no norte de Portugal; os fluidos são predominantemente aquosos de baixa salinidade e têm temperaturas mínimas de aprisionamento abaixo dos 300°C a baixas pressões (Boiron et al., 1996; Noronha et al., 2000).

Agradecimentos

Investigação financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia: - Bolsa individual de doutoramento: SFRH/BD/114693/2016. Apoio do ICT através do projeto COMPETE 2020 (UID / GEO / 04683/2013) de referência POCI-01-0145-FEDER-007690.

References

- Boiron, M.-C., Cathelineau, M., Banks, D.A., Yardley, B., Noronha, F., Miller, M.F. 1996 - P-T-X conditions of late Hercynian fluid penetration and the origin of granite-hosted gold quartz veins in northwestern Iberian: a multidisciplinary study of fluid inclusions and their chemistry. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 60, pp. 43-57.
- Caessa, P. N. S., Oliveira, D. P. S. and Barros, A. F. 1998. Bigorne: Ocorrência de ouro do tipo “sheeted vein” na zona de Castro Daire – centro norte de Portugal. *Estudos, Notas e Trabalhos, Instituto Geológico e Mineiro*, v. 40: 71-79.
- Ciobanu, C.L., Birch, W.D., Cook, N.J., Pring, A., and Grundler, P.V., 2010, Petrogenetic significance of Au-Bi-Te-S associations: The example of Maldon, Central Victorian gold province, Australia: *Lithos*, v. 116, p. 1–17.
- Douglas, N., Mavrogenes, J., Hack, A., England, R., 2000. The liquid bismuth collector model: an alternative gold deposition mechanism. In: Silbeck, G., Hubble, T.C.T. (Eds.), *Understanding Planet Earth; Searching for a Sustainable Future; on the Starting Blocks of the Third Millennium. : 15th Australian Geological Convention Abstracts*. Geological Society of Australia, Sydney. 135 pp.
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L. (1987) Granitóides da Zona Centro- Ibérica e seu Enquadramento Geodinâmico. In: Bea, F., Carnicero, A., Gonzalo, J.C., López Plaza, M., Rodríguez Alonso, M.D., (Eds.). *Geología de los Granitoides y Rocas Asociadas del Macizo Hespérico*. Libro de Homenaje a L.C. Garcia de Figuerola. Editorial Rueda, Madrid, Spain, 37-51.
- Fuertes-Fuente, M., Cepedal, A., Lima, A., Dória, A., Ribeiro, M.A., Guedes, A. 2016. The Au-bearing vein system of the Limarinho deposit (northern Portugal): Genetic constraints from Bi-chalcogenides and Bi–Pb–Ag sulfosalts, fluid inclusions and stable isotopes. *Ore Geology*, 72: 461 213-231.
- Juvert, M., Fontbote, J. M., Ribeiro, A., Conde, L. E. N. 1972. Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. *Inst. Geol. Min. ESpaña*, escala 1:1.000.000
- Kretschmar, U., Scott, S.D., 1976. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Can. Mineral.* 14, 364–386.
- Noronha, F., Cathelineau, M., Boiron, M.C., Banks, D., Doria, A., Ribeiro, M.A., Nogueira, P., Guedes, A., 2000. A three-fluid stage model for Au metallogenesis in granites and their metamorphic host rocks in Northern Portugal. *J. Geochem. Explor.* 71 (2), 209–224.
- Noronha, F., Ramos, J., Rebelo, J., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L., 1981. Essai de corrélation des phases de déformation hercynienne dans le Nord-Ouest Péninsulaire. *Leidse. Geol. Meded.* 52 (1), 87–91.
- Teixeira, C., Medeiros, A. C., Fernandes, A.P. (1968) Folha 14-A Lamego da Carta Geológica de Portugal, escala 1:50.000. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.
- Tooth, B., Brugger, J., Ciobanu, C.L., and Liu, W.H., 2008, Modeling of gold scavenging by bismuth melts coexisting with hydrothermal fluids: *Geology*, v. 36, p. 815–818.